

MINISTERE des AFFAIRES ETRANGERES, FRANCE
MINISTERE de l'AGRICULTURE, CUBA
INSTITUT NATIONAL de la RECHERCHE AGRONOMIQUE
INSTITUT de RECHERCHES du CAFE et du CACAO (IRCC/CIRAD)

COMPTE RENDU DE MISSION A CUBA
DU 25 NOVEMBRE AU 5 DECEMBRE 1986

P.JADIN
Agro-pédologue
IRCC-CIRAD
MONTPELLIER



DIRECTION DES RELATIONS
INTERNATIONALES ET DE LA
RECHERCHE TROPICALE

(Original à retourner dûment rempli
avec le C.R. de mission)

COMPTE RENDU DE MISSION (*)

en (Pays) : CUBA
de (Prénom, Nom) : Pierre JADIN
du : 25/11/86 au : 6/12/86

IDENTITE

Département : IRCC/CIRAD
Adresse Station : BP 5035 - 34032 Montpellier CEDEX
Téléphone : 67639170
Grade : Agro-pédologue

Voyage financé par : Ministère des affaires étrangères
Séjour financé par : Ministère de l'agriculture Cubain

Ordre de mission n° :

CORRESPONDANT

Organisme de recherche : Direction National du Café et du Cacao (MINAG)
Intitulé du laboratoire :
Nom du correspondant : Mr GUILLERMO PENTON

THEME SCIENTIFIQUE

Fertilisation minérale et irrigation du caféier et du cacaoyer.....

MOTS-CLES (VOCINRA) :

SYNTHESE

Collecte d'informations concernant le programme de recherche en nutrition
et irrigation du caféier et du cacaoyer - Exposés des orientations prises
par l'IRCC dans ces domaines - Propositions de collaboration.....

(*) (même en cas de mission groupée donnant lieu à un compte rendu commun, remplir un original par personne)

RESUMEN

Los objetivos de esta mision eran, a nivel de la fertilizacion mineral:

- conocer los programas de investigaciones en cafe y cacao
- exponer los métodos utilizados y los resultados obtenidos por el IRCC
- proponer un programa de colaboracion.

A nivel de programas Cubanos, existe una red de ensayos, en zonas ecologicas diferente, para determinar las dosis optimas de nitrogeno, fosforo y potasio. En estos ensayos, el numero de repeticiones y el numero de plantas utiles por parcelas son insuficientes. En fin, no tienes en cuenta las caracteristicas quimicas del suelo que pueden guiar al investigador en la eleccion de los tratamientos a comparar.

En el IRCC, utilizamos cada vez mas el metodo del diagnostico "suelo". Para la planta de cacao, este metodo esta listo para establecer formulas de abonos. Para el cafeto, el permite, por el momento, extrapolar los resultados de ensayos factoriales.

Despues de varias discusiones con los investigadores Cubanos, fué aprobada una colaboracion con IRCC en las siguientes esferas:

1. Tecnicas de analisis de suelos
2. Estudio de la nutricion nitrogenada del cafeto
3. Investigaciones de tecnicas culturales anti-erosivas para los cafetales en las regiones montañosas
4. Utilizacion del diagnostico "suelo" para la fertilizacion de la planta de cacao
5. Documentacion.

CALENDRIER DE LA MISSION ET PRINCIPALES PERSONNES RENCONTREES

25 novembre : Montpellier - Paris - Madrid - La Havane

26 novembre : réunion pour établir le programme

-Mme HILDA AGUILERA, relations extérieures - Ministère de l'Agriculture.

-Mr GUILLERMO PENTON, chef du département d'agrotechnie café et cacao - Direction Nationale du Café et du Cacao.

-Mr JUAN PANEQUE, Directeur de l'Institut des Sols et d'Agrochimie - Ministère de l'Agriculture.

-Mr FRANCISCO SOTO, chercheur en physiologie

-Mr JOSE R. GRANT, Direction Nationale du Café et du Cacao.

27 au 29 novembre : Discussion et visite des essais à l'INCA (Institut National des Sciences Agricoles)

-Mr RAMON RIVERA

-Mr J. SANCHEZ

30 novembre : déplacement - La Havane, Santiago de Cuba, station caféière du IIIème Front.

1 décembre : discussion et visite des essais

-Mr SERGIO CHALA SANCHEZ, Institut de Recherche d'Agrochimie et d'Amélioration des sols (La Havane)

-Mr F. RODRIGUEZ PATTERSON, Directeur de la station

-divers chercheurs et techniciens

2 décembre : déplacement - IIIème Front, Baracoa (station cacao)

3 décembre : discussion et visite des essais

-Mr MENENDEZ GRENOT, Directeur de la station

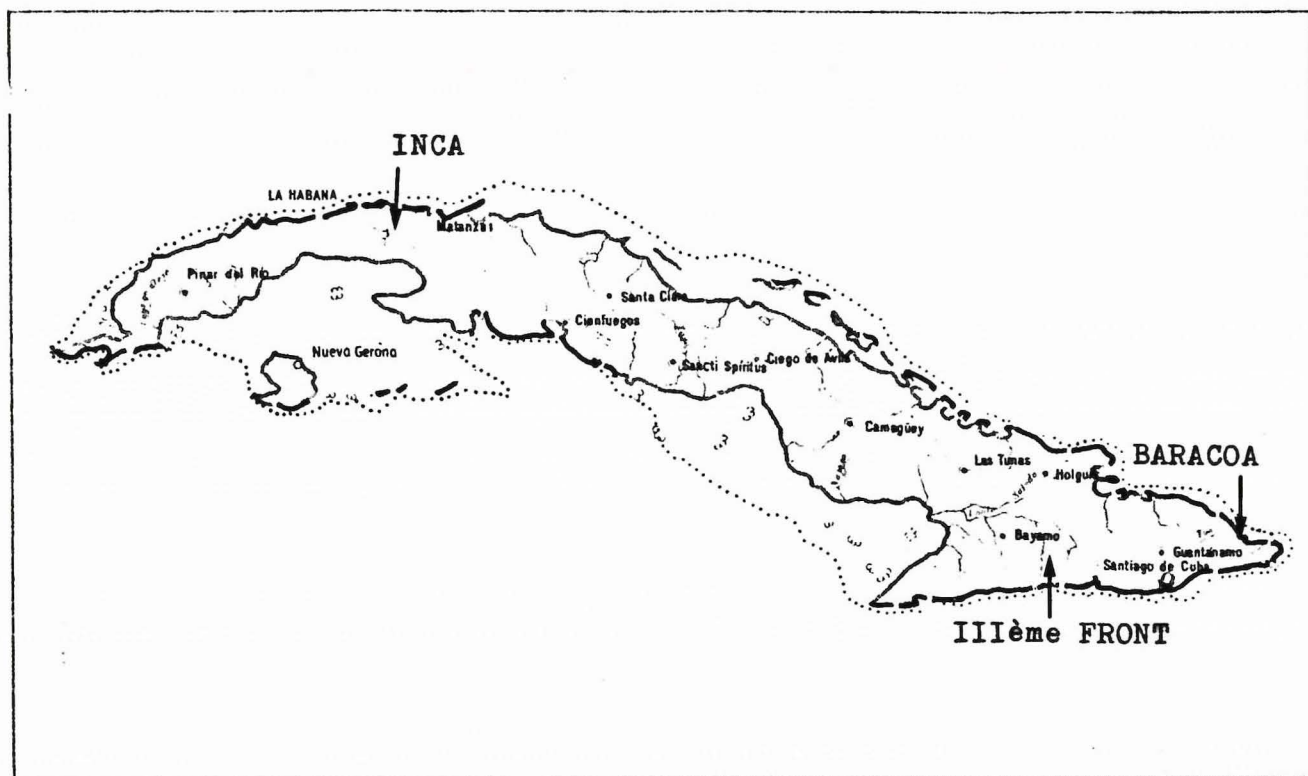
-Mr SERGIO CHALA SANCHEZ

-divers chercheurs

4 décembre : déplacement - Baracoa, Santiago de Cuba, La Havane

5 décembre : réunion finale au département des relations extérieures du Ministère de l'Agriculture et retour sur la France

LOCALISATION DES STATIONS DE RECHERCHES VISITEES



Compte-rendu de Mission à CUBA

25/11 au 5/12/86

OBJET DE LA MISSION

La présente mission avait pour objectif de proposer une collaboration de l'IRCC au niveau de la fertilisation et de l'irrigation du cafeier et du cacaoyer. Le programme comportait 3 parties:

1. Connaitre les programmes de recherche des différents organismes Cubains.
2. Exposer les méthodes utilisées par l'IRCC et les résultats obtenus.
3. Proposer une expérimentation pour comparer les méthodes et collaborer dans des programmes identiques.

I. PROGRAMME DE RECHERCHE DU CAFEIER ET DU CACAOYER A CUBA.

D'une manière générale, la fertilisation minérale du cafeier et du cacaoyer est étudiée à partir de 3 expérimentations:

- un essai de doses d'azote
- un essai de doses de phosphore
- un essai de doses de potassium

Ces essais comprennent 6 niveaux associés à 2 niveaux pour les éléments non étudiés. Par exemple, dans l'essai "azote", on aura 2 niveaux P.K. En outre, toutes ces combinaisons sont parfois associées à 2 ou 3 niveaux de matière organique mis à la plantation. Pour ne pas avoir des essais trop grands, on a utilisé des petites parcelles élémentaires (10-12 pieds utiles) et réduit le nombre de répétitions (4-5). Aussi, "les dispositifs expérimentaux mis en place dans tous les domaines ne permettront pas, le plus souvent, de séparer avec précision les différents traitements à l'étude. Six répétitions sont un minimum pour avoir des différences significatives pas trop importantes, huit serait même préférable parfois. Les essais devant durer un certain nombre d'années, il faut bien réfléchir au niveau du dispositif à choisir afin de ne pas perdre du temps et de l'argent". (LOTODE -

rapport de mission à Cuba - 14 au 25/6/86)

Il faut également signaler que les épandages d'engrais se font soit tous les ans (cas des engrais azotés) soit uniquement à la plantation (souvent le cas pour le potassium et le phosphore, parfois pour l'azote).

Dans tous ces essais on suit la production, l'évolution chimique du sol et la composition chimique des feuilles.

En ce qui concerne le cacaoyer, ce dispositif est également appliqué à la recherche d'une production optimum de bourgeons destinés au greffage et à un excellent développement végétatif des boutures en pépinière.

Ces essais de fertilisation se situent sur des sols différents. Sur la station expérimentale de l'INCA, près de La Havane, on a des sols ferrallitiques rouges compacts faiblement désaturés et très profonds.

- Somme des bases échangeables = 11,3 meq/100
- Capacité d'échange = 15 à 20 meq/100
- pH = 6,5

La station caféière du IIIème Front se trouve sur des "SUELOS PARDOS" sans carbonate, faiblement désaturés et peu profonds.

- Somme des bases échangeables = 30 à 40 meq/100
- pH = 6,3 à 6,7

Les sols de la région cacaoyère (Baracoa) seraient des latosols dont les caractéristiques chimiques seront déterminées au CIRAD (France).

Des analyses chimiques plus complètes seront connues ultérieurement à partir des analyses à faire sur les échantillons prélevés au cours de la mission (INCA - IIIème Front - Baracoa).

Les techniques culturales sont différentes selon les sites expérimentaux. Sur la station de l'INCA, les cafeiers (CATURA) sont plantés à forte densité (5.000 pieds/Ha encore loin de l'optimum = 12.500 pieds/Ha), en plein soleil. Ils sont irrigués par aspersion de manière empirique. La préparation du terrain est faite mécaniquement (labour-sous solage). Il en est de même pour la plantation (ouverture de billons) et l'entretien (grirobroyeur). Sur la station du IIIème Front, vu la forte déclivité des terrains, les cafeiers sont plantés en terrasses à une densité également de 5.000 pieds/Ha. En outre ils sont cultivés sous ombrage avec parfois une plante de couverture (ZEBRINA COMMUNIS). Pour ce qui est des cacaoyers, il s'agit de plantations clonales, ombragées et à un écartement de 3x3 m.

A toutes ces techniques culturales correspond un mode de fertilisation. Sur un terrain plat, les engrais sont mis en ligne de part et d'autre des cafeiers. Sur un terrain accidenté, ils sont enfouis légèrement dans un croissant en amont de chaque plant. En cacaoculture ils sont épandus en couronne.

L'objectif de tous ces essais d'engrais est de trouver une dose optimale pour chacun des éléments étudiés (N-P-K-MO) et pour chacune des cultures. Il apparaît que ce programme de fertilisation n'est pas raisonné. On ne tient pas compte du potentiel chimique du sol et des besoins de la plante au cours de ses différentes phases végétatives (croissance - floraison - fructification - développement du fruit). Ainsi une fertilisation potassique dans le jeune âge apparaît inutile étant donné que les besoins en cet élément se situent au moment de la fructification et du développement des fruits. Les essais tels qu'ils sont conçus pour le moment se présentent sous forme d'une loterie avec l'espoir de trouver un apport équilibré optimum des 3 éléments N-P-K, résultat que l'on pourra extrapoler uniquement dans les zones où les sols auront des caractéristiques chimiques identiques à celles de l'expérimentation.

Certains essais ont déjà fourni des résultats:

- Sur la station expérimentale de l'INCA, on a enregistré une réponse à l'azote sans atteindre l'optimum (supérieur à 280 Kg de N/Ha avec une meilleure efficacité à forte densité de

plantation (10.000 pieds/Ha).

une réponse au potassium avec un apport optimum de 450 Kg de K₂O/Ha.

une réponse au phosphore avec un niveau optimum de 150 Kg de P₂O₅/Ha.

un effet très significatif de la matière organique à la plantation.

- Sur la station du IIIème Front, le seul effet obtenu est celui des engrais azotés avec un optimum situé à 100 Kg/Ha (20 g/cafeier ombragé).

Enfin il faut signaler que les agrochimistes de l'INCA ont commencé une étude sur l'évolution des engrais azotés dans le sol, sous cafeiers, en utilisant l'¹⁵N. Aucune précision n'a été fournie concernant ce programme mais il a été possible de voir le dispositif d'étude sur le terrain (bac en tôle, sans fond de 2 x 1 m et 60 cm de profondeur contenant 1 cafeier) pour déterminer l'excès isotopique efficace (5-15-20 ‰) pour des cafeiers de 2 ans.

Cloturons ce chapitre "programme de recherche" en signalant qu'il existe, sur la station expérimentale du IIIème Front, un essai d'irrigation goutte à goutte pour déterminer le meilleur débit des goutteurs (2-4-8 L/heure) placés tous les mètres sauf pour les goutteurs 8L espacés d'1m60 (écartement des cafeiers - CATIMOR - dans la ligne = 1M). Le déclenchement des irrigations est fonction de l'évaporation donnée par un bac "classe A" (7 mm évaporés = 11 l d'eau par plante). Après 16 mois de plantation, c'est le système 8l/h qui donne le meilleur résultats.

II. METHODES IRCC.

Dans le domaine de la fertilisation minérale du cafeier et du cacaoyer, l'IRCC a, par le passé, suivi un schéma expérimental basé sur le dispositif factoriel (N-P-K). Dans ce dispositif, les niveaux étudiés sont moins nombreux (3 en général) que les dispositifs décrits au chapitre précédent. Par contre il permet de trouver les interactions entre les éléments. Il a donné quelques résultats en café permettant de faire des recommandations en fonction du potentiel chimique du sol (sol peu désaturé - sol désaturé).

Il faut signaler que l'IRCC a abandonné le diagnostic foliaire pour faire des estimations de besoins en engrais, cette méthode n'étant pas utilisable pour ces cultures.

En cacaoculture, toute la fertilisation minérale est basée sur le diagnostic "sol", c-à-d sur la nécessité de corriger les déficiences chimiques du sol pour augmenter la production. De nombreuses publications ont montré l'efficacité de cette méthode. Des études sont encore en cours pour déceler et activer les facteurs de production (floraison - nouaison - wilt) influencés par les engrais.

Suite aux résultats obtenus sur cacaoyers, on oriente les essais d'engrais sur caféiers vers le diagnostic "sol". Ceci modifie la définition des traitements dans les dispositifs expérimentaux. On ne compare plus des apports d'éléments (N-P-K) mais des niveaux chimiques dans le sol que l'on s'efforce d'atteindre et de maintenir par des apports calculés. C'est dans cette perspective qu'un programme de recherches sur la nutrition azotée du caféier a été mis en place. Il a pour objectif de préciser:

- le niveau optimum d'azote assimilable à atteindre dans le sol après chaque épandage d'engrais azoté et sa fréquence annuelle.

- le rapport optimum entre les formes minérales (NH_4 - NO_3), leur évolution et les pertes en fonction du temps et des conditions climatiques
- le coefficient d'utilisation réel des engrais azotés en relation avec l'environnement pédo-climatique.

En irrigation, on utilise des tensiomètres pour déclencher les arrosages et les quantités d'eau à apporter sont estimées à partir d'évaporomètres (bac collorado) ou en fonction de l'évolution du stock d'eau dans le sol (sonde à neutrons + tensiomètre). Le mode d'apports d'eau diffère d'une culture à une autre. En caféiculture, on utilise l'aspersion et parfois l'irrigation localisée. En cacaoculture, l'aspersion n'est pas réalisable à cause de la nécessité d'un ombrage provisoire dans le jeune âge et du développement végétatif important par la suite. L'irrigation localisée a donné parfois de mauvais résultats (goutte à goutte en Côte d'Ivoire). Pour le moment, la microaspersion (midget - microasperseur) s'est avérée comme le système le plus efficace. D'une manière générale

dans les conditions climatiques de Côte d'Ivoire, l'irrigation s'est avérée payante uniquement durant les premières années après la plantation suite à une meilleure croissance et homogénéité. Par la suite, l'apport d'eau complémentaire n'est significatif qu'en année exceptionnellement sèche.

III. COLLABORATION ENTRE INSTITUTIONS CUBAINES ET IRCC.

Les essais mentionnés dans le chapitre I et qui ont fait l'objet de discussions au cours de la mission, sont d'installation récente. Ce réseau a été complété en 1986, en particulier dans la zone orientale de Cuba (IIIème Front - Baracoa). En conséquence, il est impossible de modifier dans l'immédiat la conception de ces expérimentations. D'autre part, les chercheurs Cubains manifestent un certain scepticisme à aborder la fertilisation du caféier et du cacaoyer par le biais du diagnostic "sol".

En conséquence la collaboration de l'IRCC au cours de l'année 1987 se limitera à fournir aux agrochimistes Cubains des informations complémentaires qu'ils ont souhaité recevoir:

- techniques analytiques pour aborder la fertilisation par le diagnostic "sol".
- méthodologies que nécessite cette nouvelle orientation.
- moyens de calcul et d'interprétation des essais.

Une note rédigée par les agrochimistes "café" de l'INCA reprend ces souhaits d'une façon plus détaillée (annexe 1) et avec des échéances. De nombreux sujets y sont énumérés mais pour une collaboration efficace il faudra, dans un premier temps, se limiter.

Il existe une préoccupation commune à l'INCA et à l'IRCC, à savoir la nutrition azotée du caféier. Il apparaît opportun qu'un programme de collaboration s'établisse autour de ce sujet par un échange d'informations sur les méthodes et les résultats. En annexe 2 on trouvera le schéma de la recherche de l'IRCC dans ce domaine.

Autre domaine à aborder rapidement: les analyses de laboratoire.

Quelques échantillons provenant de Cuba seront analysés en France. Les mêmes échantillons ainsi que des échantillons d'Afrique seront analysés à Cuba. Ces travaux analytiques permettront de comparer les méthodes utilisées et d'apprécier leur validité pour un diagnostic "sol" où il est indispensable de doser des éléments assimilables par la plante.

Les chercheurs de l'INCA ne sont pas nos seuls interlocuteurs et les problèmes discernés dans les autres stations méritent qu'on s'y attarde pour élaborer des solutions. Ainsi sur la station du IIIème Front il importe de trouver une technique culturale anti-érosive permettant de maintenir les caféiers dans des conditions d'ensoleillement favorables à leur croissance et à leur production. Les responsables sur place ne jurent que par l'ombrage (LEUCAENA en moyenne altitude - GLYRICIDIA en haute altitude). Cette attitude se reflète dans l'essai "densité x ombrage" installé à 500 m d'altitude, hors de la station. Dans les répétitions "plein soleil", on n'a pas installé de plante de couverture. Dans ces conditions ce traitement est un suicide (expression d'un chercheur). Pourquoi n'a-t-on pas utilisé le ZEBRINA qu'on retrouve dans les essais de la station? Dans ce domaine, des techniques culturales seront proposées après consultation d'experts en la matière. Au niveau des dispositifs expérimentaux une recherche sera faite pour tenir compte du système culturel en terrasses que nécessite la topographie.

Enfin pour ce qui est de la fertilisation minérale du cacaoyer, l'IRCC poursuivra son travail de persuasion pour amener les chercheurs Cubains à mettre en place des essais "diagnostic sol". Pour ce faire des résultats obtenus en Afrique leur seront communiqués et des protocoles d'essai leur seront proposés.

IV. CONCLUSIONS.

La mission a permis de faire un tour d'horizon des expérimentations en place et d'avoir un aperçu de l'écologie des zones à vocation caféière et cacaoyère. Toutes les données recueillies seront précisées par la suite dans le cadre d'un programme de collaboration, programme qui prévoit pour la fin 1987 la mission d'un expert Cubain en France. Il aura au menu de sa mission l'examen d'un document comprenant:

ALGUNOS ASPECTOS ABORDADOS EN LA VISITA EFECTUADA AL INCA POR EL SR. PIERRE
JADIN DEL INSTITUTO FRANCES DE CAFE Y CACAO.

A partir de la visita del Sr. P. Jadin al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas en los días 27, 28 y 29 de nov./86 se llegó a la siguiente proposición de algunos aspectos para la colaboración con el Instituto Francés de Café y Cacao. El mismo consta de 4 aspectos principales:

1. Nutrición nitrogenada del cafeto.
2. Participación en un ^{proyecto} proyecto con diferentes instituciones cubanas sobre -
"La ^{puesta} puesta en práctica de un diagnóstico para la fertilización mineral y
orgánica del cafeto".
3. Elaboración de un programa de formación de especialistas en lo fundamental
en técnicas analíticas y agroquímicas, para cumplimentar los aspectos ante-
riores, así como otros relacionados con las necesidades del desarrollo de
las investigaciones científico-técnicas en el cafeto. Este aspecto se mate-
rializará a través de entrenamientos de 2 a 3 meses de duración.
4. Intercambio de especialistas basado fundamentalmente en el cumplimiento de
los dos primeros aspectos. Este aspecto se materializará a través de visi-
tas cortas de 10-20 días por los especialistas de cada una de las partes.

Para la obtención del primer aspecto "Nutrición nitrogenada del cafeto" con
sideramos se deben cumplir los siguientes pasos:

- a) Intercambio inicial de información sobre los resultados obtenidos por ambas Instituciones en dicha problemática. Fecha 21-29/11/86.
- b) Intercambio de protocolos, metodologías y diseños específicos de instalaciones para evaluar:
- pérdidas por lavado.
 - adsorción de formas minerales - cultivos hidropónicos.
 - utilización del fertilizante por la planta y retorno al suelo.
 - mineralización de la materia orgánica, inmovilización, residualidad.-experimentos de incubación y condiciones de campo.
 - técnicas analíticas.
 - y otros aspectos necesarios para el establecimiento del Balance - N.

Ambas Instituciones intercambiarán como consideran en específico evaluar cada uno de estos aspectos.

En especial al INCA le interesa conocer los dispositivos y metodología de evaluación del IROU en lo referente a: 1) pérdidas por lavado - "Capteurs Solaires Sol", 2) la automoción de los r. 1 en las - cultivo hidropónico, 3) transacciones y cambios del suelo-circulantes de incubación.

El L. CC. ^{CONVIENE} ^{ABRIL} puede en cambio ser analizado así como las técnicas analíticas -

En 1964, 1965 y 1966 la "Estación de la Loma" en los trabajos de "Selección de la fertilización N en plantaciones de café."

Rec'd: 11/30 - 4/37.

- c) Elaboración conjunta de objetivos y metodologías de trabajo.

Este punto se materializará a través del cumplimiento de los anteriores y del intercambio y opiniones acerca de las metodicas de trabajo propuestos por cada Institución.

- d) Intercambio de la información obtenida.

Anualmente o en función de las necesidades de cada Institución se deben intercambiar los resultados obtenidos en esta temática. La vía de utilización podrá ser en correspondencia o a través del intercambio de especialistas - que es más provechoso pues permite el análisis conjunto de resultados e intercambio de experiencias.

- El intercambio de especialistas se propone anual y de forma alterna.

1987 - especialista cubano.

1988 - especialista francés.

1989 - especialista cubano.

1990 - especialista francés.

- El idioma ^{lenguaje} para la correspondencia debe ser el del destinatario o el inglés.

Para la obtención del segundo aspecto "Diagnóstico de la fertilización mineral y orgánica del cafeto" consideramos se deben materializar los siguientes pasos.

- Análisis de los suelos en que están montados los experimentos, así como de la información existente hasta la fecha e interpretación agroquímica.

Fecha - último trimestre 1987. ^{después de marzo}

- A partir del punto anterior, se pueden montar experimentos, de forma general, con pocos tratamientos que tengan en cuenta las recomendaciones del IRCC así como algún aspecto no contemplado en el plan experimental del quinquenio 1986-90. Fecha: 1988. ^{marzo de 1988}

- Intercambio de técnicas analíticas y determinaciones que conforman los enfoques de trabajo de ambas Instituciones (a petición de las mismas).

Fecha: 11/86 - 6/87. ^{después de marzo}

- Elaboración de temáticas conjuntas para el quinquenio 1991-95.

Fecha: 1989-1990.

- Entrenamiento de especialistas cubanos en métodos agroquímicos, interpretación de resultados y métodos estadísticos. (dos en el período).

- Intercambio de la información obtenida y de especialistas.- Con vistas a evaluar de forma conjunta los resultados, intercambiar experiencias, así como valorar y conocer de nuevos aspectos que se investigan o se aplican en las Instituciones.

DOCUMENTS CONSULTÉS

1. Rapports de mission à Cuba

Janvier - février 1971 - Mrs Cambrony et Braudeau

Octobre - novembre 1983 - Mr Muller

Juillet 1985 - Mr Blaha

Juin 1986 - Mr Lotode

2. Instrucciones técnicas para el cultivo y cosecha del café y cacao -

Dirección Nacional Café y Cacao - MINAGRI - julio 1981.

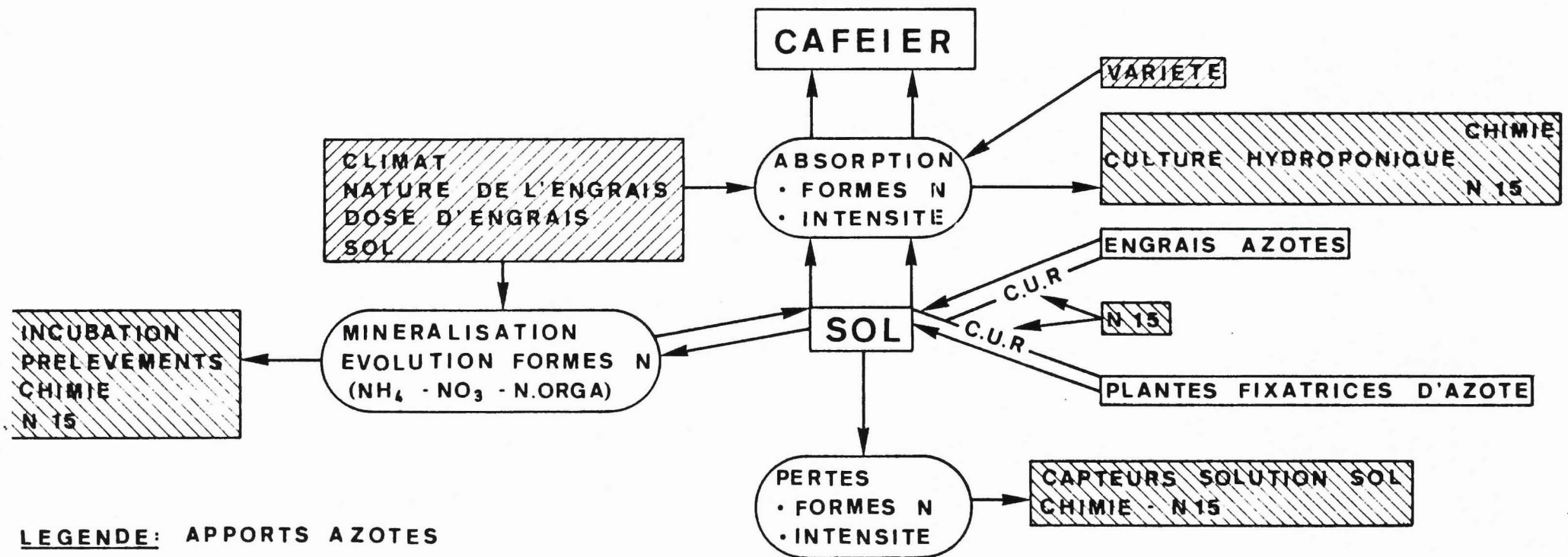
3. Etude de quelques sols de Cuba et en particulier des sols ferralliti-

ques par D. Bosch, E. Camacho, P. Segalen - Cahiers ORSTOM - série pédologie - XIX N°3 1982.

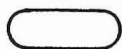
DOCUMENTS ANNEXES

1. Schéma de l'étude sur la nutrition azotée du cafeier.
2. Etat actuel des recherches en matière de fertilisation minérale pour les cacaoyers et les cafeiers ROBUSTA -P.Jadin et J.Snoeck -IRCC CIRAD.
3. Recommandations pour les prises d'échantillons de sol pour le cacaoyer et le cafeier.
4. Quelques données analytiques d'échantillons de terre prélevés à Cuba.

NUTRITION AZOTEE DU CAFEIER



LEGENDE: APPORTS AZOTES



EVOLUTION



FACTEURS INFLUANTS



MOYENS

ETAT ACTUEL DES RECHERCHES
EN MATIÈRE DE FERTILISATION MINÉRALE
POUR LES CACAOYERS ET LES CAFÉIERS ROBUSTA

par

P. JADIN et J. SNOECK
Service d'Agronomie - IRCC - CIRAD
MONTPELLIER (FRANCE)

RESUME

En matière de fertilisation minérale du cacaoyer, la méthode du diagnostic-sol s'est avérée efficace pour calculer les besoins en engrais. Elle consiste à corriger, par des apports localisés d'engrais, les déséquilibres aux niveaux chimiques du sol.

Par cette méthode et un programme de calcul sur ordinateur, il est possible de recommander une formule d'engrais équilibrée pour augmenter la production et la rentabilité d'une cacaoyère.

Sur le plan "recherche", les résultats d'essais agronomiques en cours et à venir permettront d'optimiser l'efficacité des engrais : essais axés sur l'étude de la relation engrais-sol, facteurs de production.

L'étude des besoins en engrais des caféiers a été abordée par les méthodes classiques des essais factoriels et des essais de formules calculées à partir des exportations.

Parallèlement des tentatives de définition des exigences en éléments minéraux ont été entreprises par la voie du diagnostic foliaire et par la voie du diagnostic sol.

L'analyse foliaire seule ne permet pas de préciser les besoins en fertilisants des caféiers. Il faut tenir compte du sol. Des progrès ont été réalisés dans les interprétations des analyses de sol, mais il n'est pas encore possible de baser des recommandations de doses sur la valeur chimique du sol. Celle-ci permet cependant des orientations valables sur les éléments minéraux à apporter et sur les chances de leur rentabilité. Un programme de fumure minérale des caféiers est proposé.

I. CACAOYER

1.1. Méthode

La technique du "diagnostic-sol" préconisée pour une fumure rationnelle du cacaoyer, prend en compte un certain nombre d'éléments de la partie superficielle du sol dont les valeurs absolues ou équilibres assureront une croissance et une production optimales (JADIN 1972).

Au niveau des bases échangeables (K-Ca-Mg), on recherche un taux de saturation minimum de 60 %, un équilibre entre elles de 8-68-24 et une relation optimum avec l'azote total en fonction du pH (ex: 4,4 meq de B.E. - 1,180/00 de N - pH = 5,5). En ce qui concerne le phosphore, élément primordial pour le cacaoyer, on amène le rapport N total/ P_{20_5} total à une valeur égale ou inférieure à 1,5, tout en assurant une teneur en phosphore assimilable voisine de 0,3 o/00 de P_{20_5} (131 ppm de P). *Chen Dabin*

En cacaoculture, on procède à une fertilisation localisée, autour de chaque arbre, dans une couronne de 60 à 100 cm de rayon. En général, dans cette surface, on s'efforce de corriger le sol sur une profondeur de 20 cm. Aussi, pour une densité de 1 320 pieds/ha, on corrige 26 à 33 % de la surface plantée. C'est dans cette fraction de sol que l'on corrige les carences et que l'on maintient les caractéristiques chimiques à leur niveau optimum.

Cette méthode d'une réelle efficacité peut être améliorée par une meilleure connaissance de l'action des engrais sur le sol et sur les facteurs de production. "Efficacité" et "amélioration" sont abordés dans les paragraphes qui suivent.

1.2. Résultats

1.2.1. Essais sur station

Pour tester la technique du "diagnostic-sol", des essais ont été mis en place dans diverses situations pédo-climatiques de

Côte d'Ivoire. La méthode utilisée est celle des couples (engrais - pas d'engrais) avec 5 ou 6 répétitions. Les engrais les plus utilisés sont le superphosphate triple, le chlorure de potassium et la kiése-rite, les proportions variant en fonction des caractéristiques chimiques du sol et de leur évolution dans le temps. La dose moyenne d'engrais (P + K + Mg) utilisée dans les répétitions "avec engrais" est comprise entre 500 et 650 gr/cacaoyer/an. Les résultats de ces essais sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1. Rendement moyen annuel exprimé en kg de cacao marchand par ha.

Parcelle et année de plantation	Nombre de récoltes	Avec engrais	Sans engrais	Différence
<u>Divo</u>				
- G1 (70)	9	2 950	1 950	1 000 (+ 51 %)
<u>Abengourou</u>				
- I4 (72)	7	1 700	1 250	450 (+ 36 %)
<u>Zagne</u>				
- K1 (71/73)	7	1 550	750	800 (+ 106 %)
<u>Tombokro</u>				
- (70/74)	6	2 100	1 600	500 (+ 31 %)
<u>Soubre</u>				
- (73)	6	1 650	750	900 (+ 120 %)
<u>Divo</u>				
- H1-3 (74)	5	2 650	1 850	800 (+ 43 %)
- H1-2 (74)	5	2 700	1 900	800 (+ 42 %)

1.2.2. Essais en milieu rural

Des parcelles de 0,6 ha ont été installées chez différents planteurs, dans lesquelles on a suivi le comportement des cacaoyers soumis aux quatre traitements suivants :

- pas d'engrais (T1),

- engrais dès la plantation (T2),
- engrais un an après la plantation (T3),
- engrais deux ans après la plantation (T4).

Cinq ans après la plantation, les rendements estimés sur 14 parcelles et exprimés en cacao marchand par ha, étaient

- de 350 kg pour T1,
- de 770 kg pour T2,
- de 800 kg pour T3,
- de 550 kg pour T4.

Ce réseau de parcelles, mis en place dans l'Ouest et le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, a démontré la validité de la fumure minérale en milieu rural et la nécessité d'une fertilisation dès le jeune âge.

1.3. Calcul des besoins en engrais

L'efficacité de la technique du diagnostic-sol étant prouvée, un programme de calcul sur ordinateur a été mis au point pour calculer les besoins en engrais des cacaoyers (LOTODE et JAVIN - 1981). Dans ce programme, on introduit :

- des données pour calculer les engrais nécessaires à la correction du sol.
- des données pour calculer les engrais nécessaires à compenser les exportations,
- la dose annuelle d'engrais en gr/cacaoyer ou en kg/ha.

Les différences entre les caractéristiques chimiques du sol et celles recherchées permettent le calcul des oxydes nécessaires à la correction d'un hectare. Ces quantités d'oxydes sont transformées en engrais dont la nature est fonction de certaines caractéristiques chimiques du sol (pH - N/P - P_2O_5 Ass). Ces besoins en engrais, divisés par la dose annuelle moins les engrais "exportation" donne la durée d'application de la formule.

1.4. Recherche d'une optimisation de l'efficacité des engrais

Pour augmenter l'efficacité des engrais calculés par la méthode du diagnostic-sol, on a entrepris diverses études relatives aux effets de chaque engrais de la formule calculée. L'analyse des effets sur les rendements et les facteurs de rendement vise à une meilleure connaissance des niveaux optimum à rechercher, du coefficient d'utilisation des engrais et de leurs dates d'application.

1.4.1. Effet spécifique des engrais sur la production

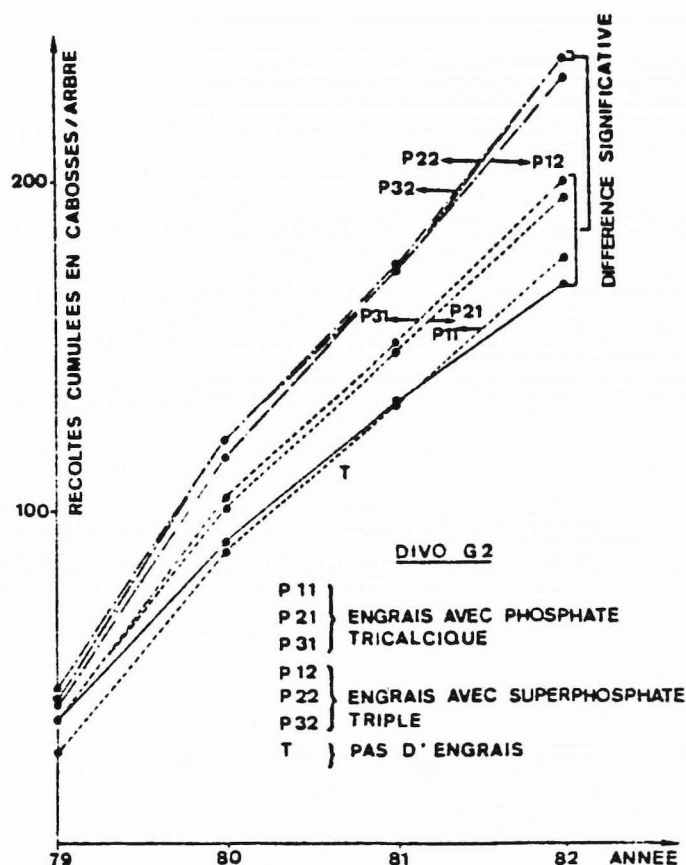
1.4.1.1. Effet de l'engrais phosphaté

Le phosphore est apparu comme élément indispensable pour un bon rendement du cacaoyer. Encore faut-il apprécier correctement la suppression de la carence phosphorique.

Une première étude en laboratoire (JADIN - FARDEAU 1979) a fait apparaître une efficacité variable des phosphates naturels en fonction du pH du sol dont les conséquences agronomiques sont apparues dans un essai où l'on a comparé les réponses de deux engrais phosphatés pour trois niveaux de correction (JADIN - FARDEAU et al. 1983).

Les engrais utilisés sont le superphosphate triple et le phosphate tricalcique et les 3 niveaux de correction correspondent à 3 valeurs du rapport N/P dans le sol (4,6 - 3,4 et 2,3). Les rendements illustrés par le graphique 1, montrent :

- 1° Que les productions cumulées des traitements "phosphate tricalcique" ne sont pas significativement supérieures à celles du témoin "sans engrais".
- 2° Que les traitements "superphosphate triple", pour des rapports N/P de 3,4 et 2,3 entraînent une production supérieure à l'ensemble des autres traitements.



Graphique 1

Suite à ces résultats agronomiques, on a recherché la ou les méthodes analytiques pour apprécier, au niveau du sol, la correction phosphatée. Il est apparu que les méthodes OLSEN modifié DABIN et résine étaient de bons indicateurs de l'évolution de la fertilité phosphatée pour un sol donné. D'autre part la technique des cinétiques de dilution isotopique des ions PO_4 dans les systèmes sol-solution, rend compte des modifications de rendements.

Si dans cet essai, on a tiré les effets liés à la nature de l'engrais phosphaté, on a montré dans un autre essai (factoriel N - P - K) l'effet "dose" de l'engrais phosphaté (superphosphate triple). Le tableau 2, relatif à la récolte 1982, illustre l'effet linéaire hautement significatif des apports de P sur les rendements.

Tableau 2 : Récolte 1982 en cabosses/arbre

	N	P	K
0	50	41	55
1	54	54	52
2	54	63	51

1.4.1.2. Effet de l'engrais potassique

Tous les essais mis en place depuis 1978 n'ont toujours pas donné de résultats significatifs permettant de situer un niveau potassique optimum, quoique, par ailleurs, des résultats agronomiques montrent un effet positif des apports de chlorure de potassium.

A titre d'exemple, les chiffres du tableau 3 montrent l'accroissement des écarts entre 2 traitements (avec engrais - sans engrais), lorsqu'on augmente les besoins théoriques en K du sol à l'aide d'un coefficient.

Tableau 3. Rendements en cabosses/ha (Divo G1)

Année	Rendements en cabosses/ha			Coefficient pour les besoins de K
	Avec engrais	Sans engrais	Dif-férence	
1973	16 690	17 360	- 670	1
1974	54 393	42 756	+ 12 137	1
1975	64 276	53 722	+ 10 554	1
1976	66 916	49 151	+ 17 765	2
1977	71 374	43 648	+ 28 226	2
1978	98 208	65 762	+ 32 446	2,5
1979	95 541	53 922	+ 41 619	2,5

1.4.1.3. Effet de l'engrais azoté

Des essais factoriels N-P ont montré l'effet dépressif de l'engrais azoté sur la croissance des jeunes cacaoyers, comme le montre le tableau 4.

Tableau 4. Diamètre au collet en mm de 96 cacaoyers âgés d'un an

	:	NO	N1	N2	N3
	:	-----			
Divo	:	20.789	18.041	17.957	16.483
Abengourou	:	7.737	7.456	7.239	7.068

De nouveaux essais sont en place pour rechercher une éventuelle efficacité de l'engrais azoté après une correction partielle ou totale de la carence phosphatée.

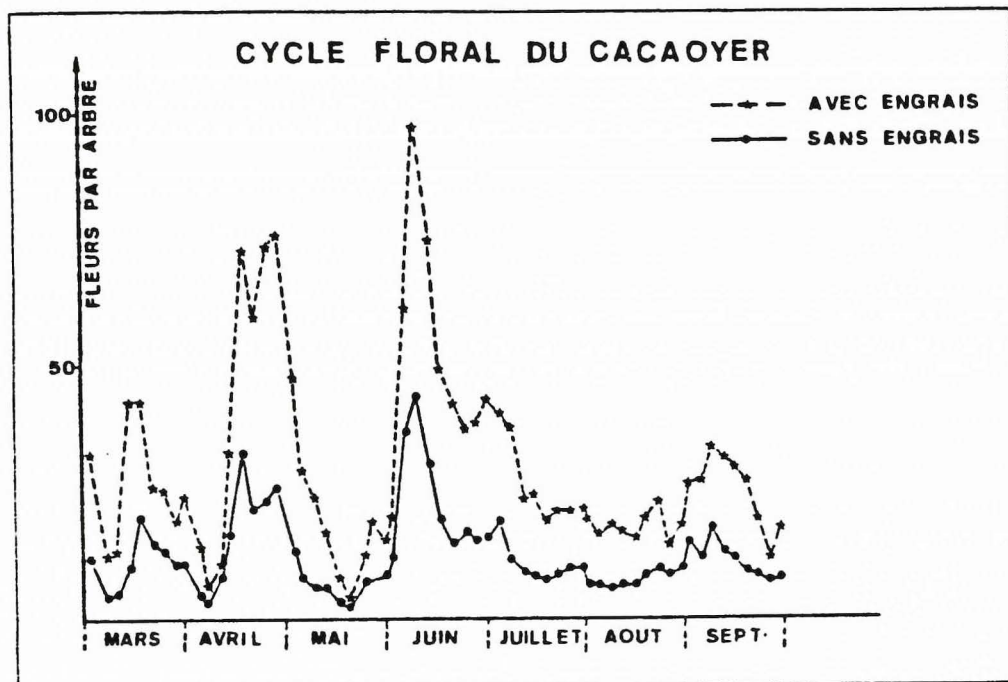
4.2. Effet des engrais sur les facteurs de production

Deux facteurs de production, intensité florale des coussinets floraux et rendement de la cabosse, ont été étudiés pour suivre leur évolution sous l'effet des engrais. L'étude d'autres facteurs de production est envisagée, parmi lesquels signalons : la densité racinaire dans l'horizon superficiel et la résistance du cacaoyer aux parasites.

1.4.2.1. Effet des engrais sur l'intensité florale du cacaoyer

Des comptages réguliers de fleurs épanouies sur un secteur d'un mètre, délimité sur le tronc du cacaoyer, ont permis de montrer que les engrais augmentaient de manière significative l'intensité florale des coussinets floraux.

Le graphique 2, tracé à partir des observations faites sur 80 cacaoyers par traitement (Divo H1-2 et H1-3), illustre cette différence.



Graphique 2

On a supposé que cette augmentation d'intensité florale était liée à une amélioration du potentiel phosphaté du sol. C'est pourquoi on a mis en place un essai en vases de végétation (décembre 1980) dans lequel on se proposait de suivre le cycle floral d'un clone planté sur un sol amené à 3 niveaux phosphatés et maintenu dans tous les cas à un équilibre K-Ca-Mg optimum. Ces 3 niveaux P0-P1-P2 sont caractérisés par les résultats des analyses faites en 1983 et 1984. (tableau 5).

Dans ce tableau, on note que les niveaux sont significativement différents entr'eux. On remarque également une certaine évolution de la cinétique entre 1983 et 1984 principalement aux niveaux P0 et P1. Les répétitions P2 ayant reçu 33 gr de superphosphate triple entre 83 et 84, les cinétiques sont restées équivalentes. Dans tous les cas, on a cependant une augmentation de pouvoir fixateur ($r1/R$ diminue) qui reste sans explication pour le moment.

1. - Chimie

		1983	1984	
P_2O_5 Ass %/oo	P0	0,096	0,097	méthode OLSEN modifiée DABIN.
	P ₁	0,193	0,188	
	P ₂	0,199	0,240	

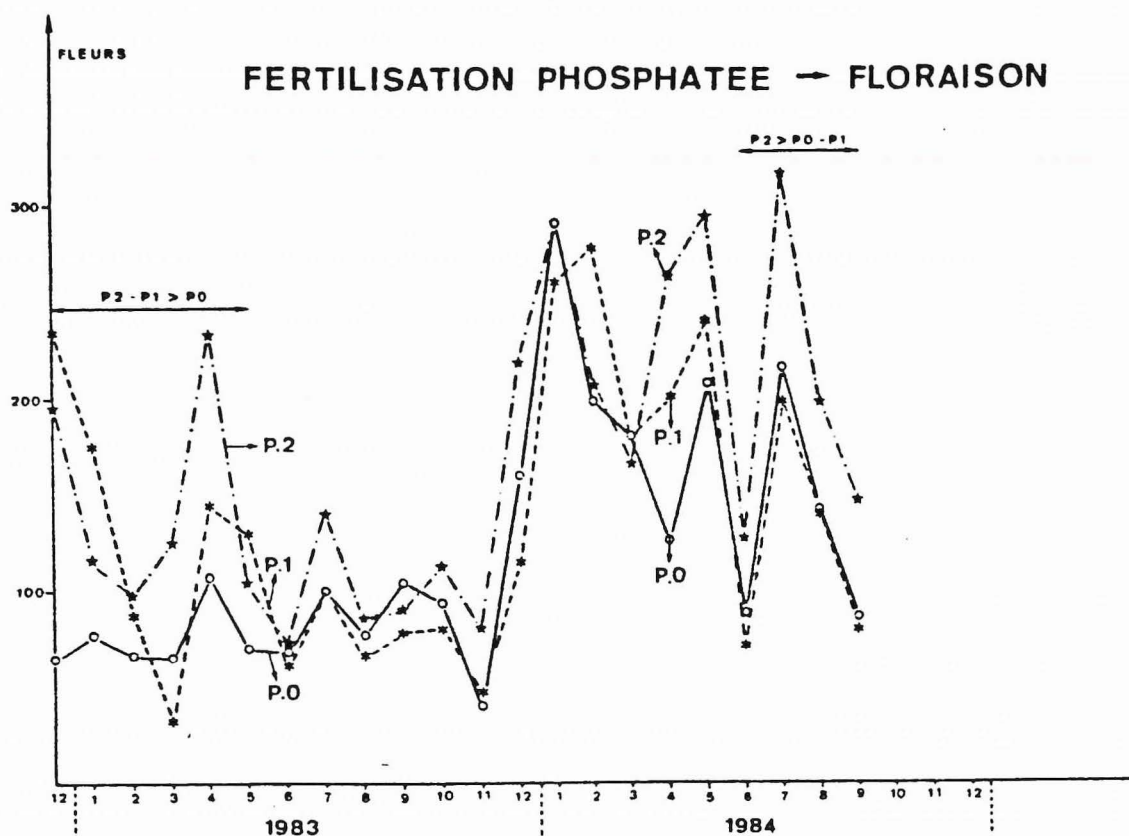
2.- Cinétique

r ₁ /R	P0	0,157	0,12	rapport entre la radioactivité restante après 1' et la radioactivité introduite.
	P ₁	0,245	0,17	
	P ₂	0,309	0,24	
n	P0	0,291	0,32	pente de la droite r/R en fonction du temps.
	P ₁	0,232	0,26	
	P ₂	0,224	0,23	
p	P0	0,722	0,59	teneur en P de la solution exprimée en µgr P. 10 ml ⁻¹
	P ₁	0,391	1,70	
	P ₂	3,752	3,55	
E ₁	P0	4,63	4,9	quantité de phosphore isotopiquement diluée après 1', soit $\frac{P}{r_1} \times p$
	P ₁	9,86	10,5	
	P ₂	11,00	14,1	

L'évolution de l'intensité florale des cacaoyers a été suivie par des comptages réguliers des fleurs tombées sur la surface des vases de végétation. Ces comptages sont illustrés par le graphique 3. On y décèle deux époques de floraison, durant lesquelles on a obtenu des différences significatives entre les traitements. Une première allant de décembre 1982 à mai 1983 durant laquelle les deux niveaux P2 et P1, les plus enrichis en phosphore, sont significativement supérieurs au niveau P0 servant de témoin. Durant la deuxième période, juin à septembre 1984, seul le niveau phosphaté le plus élevé (P2) est significativement supérieur aux deux autres.

Il apparaît donc nécessaire d'atteindre une richesse phosphatée très élevée pour influencer l'intensité florale du cacaoyer. Notons au passage que la teneur moyenne en P_2O_5 assimilable du traitement P2 n'est que de 0,24 /oo alors que précédemment on a montré que l'optimum était

de 0,3 ‰. (JADIN - FARDEAU et al. 1983). Des apports de superphosphate triple sont prévus pour amener les valeurs moyennes à 0,3 ‰ pour le traitement P2.



Graphique 3

1.4.2.2. Effet des engrais sur le rendement de la cabosse

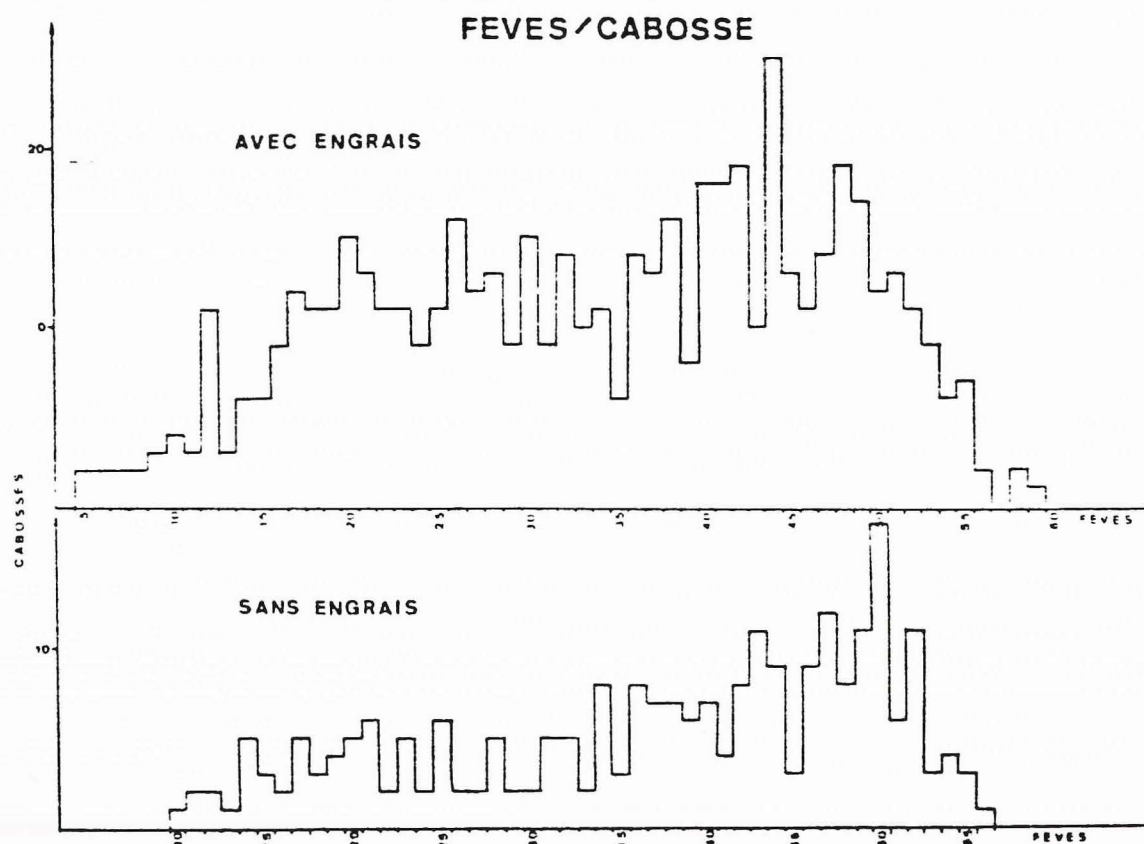
Pour quelques essais, on a procédé à des microfermentations à partir de lots de 500 cabosses environ, pour déterminer le rendement de la cabosse en cacao marchand. On a obtenu des valeurs qui diffèrent selon les régions :

- . Région Est (Abengourou) : 40,9 gr/cabosse sans engrais
40,1 gr/cabosse avec engrais

. Région Centre (Divo) : 35,2 gr/cabosse sans engrais
33,4 gr/cabosse avec engrais

. Région Ouest (Zagne) : 46,7 gr/cabosse sans engrais
47,9 gr/cabosse avec engrais

L'effet dépressif de l'engrais sur le rendement de la cabosse observé dans la région de Divo peut s'expliquer par un écart au niveau du nombre de fèves renfermées dans la cabosse. Le graphique 4 illustre cet écart. On y voit que la fréquence la plus élevée "avec engrais" se situe autour de 44 fèves/cabosse alors que "sans engrais" cette fréquence se place autour de 50 fèves/cabosse. Cette différence s'explique par une sous pollinisation des fleurs très nombreuses dans les parcelles fertilisées, fertilisation qui permet par ailleurs, aux nouaisons issues de fleurs sous pollinisées de se maintenir.



1.5. Conclusion

Le diagnostic-sol est une technique efficace pour extérioriser le potentiel des hybrides sélectionnés par l'I.R.C.C. Il est possible d'améliorer cette efficacité, en recherchant les effets de la fumure minérale sur tous les facteurs de production pour arriver à moduler les apports d'engrais avec les besoins momentanés du cacaoyer.

Pour les régions où l'on a des essais diagnostic-sol de plus de 10 ans, on a obtenu une formule d'engrais applicable à des cacaoyères en production et non fertilisées par le passé. Le tableau 6 donne, pour ces différentes régions, la composition des formules préconisées et le coût par ha et par an (voir Annexe).

A N N E X E =====

Tableau 6. Formule annuelle préconisée
pour des cacaoyères en production et son coût

Régions	gr/cacaoyer	Kg/Ha	Coût/Ha*
DIVO	Superphosphate triple: 150	200	25 000
	Chlorure de potassium: 300	400	25 000
	Kièserite : 150	200	10 000
		300	50 000
Abengourou	Superphosphate triple: 150	200	18 750
	Chlorure de potassium: 200	260	16 250
	Kièserite : 100	130	6 500
		590	41 500
GUIGLO (pH sup 5,5)	Superphosphate triple: 200	260	25 000
	Chlorure de potassium: 200	260	16 250
	Kièserite : 50	70	3 500
		590	44 750
GUIGLO (pH inf 5,5)	Superphosphate triple: 100	130	12 500
	Phosphate tricalcique: 150	200	11 000
	Chlorure de potassium: 200	260	16 250
	Kièserite : 50	70	3 500
		660	43 250
Soubre	Superphosphate triple: 200	260	25 000
	Chlorure de potassium: 200	260	16 250
	Chaux magnésienne : 50	70	2 450
		590	43 700

* basé sur le prix des engrais de 1982 et exprimé en CFA
(5 000 CFA = 100 FF).

* basé sur le prix des engrais de 1982 et exprimé en CFA
(5 000 CFA = 100 FF).

2. - CAFEIER ROBUSTA

2.1. Introduction

L'étude des besoins en engrais des caféiers a été abordée suivant diverses méthodologies. La méthode classique des essais factoriels et des essais de formules calculées à partir des exportations a été appuyée dans les années cinquante par des tentatives de diagnostic foliaire. Dès 1951, LOUE publiait une note sur l'étude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. Cette voie de recherche fut abandonnée vers 1970 en faveur d'essais de relations entre le chimisme du sol et les réponses des caféiers aux apports d'engrais.

2.2. Le diagnostic foliaire

La définition du statut nutritionnel des caféiers et de ses exigences, a fait l'objet de nombreux travaux. En 1984, SNOECK a publié une note synthétisant 44 études. En voici la discussion.

L'analyse foliaire peut servir à identifier les carences et déficiences en éléments minéraux. Mais son principal objectif est de déterminer les besoins en engrais des caféiers. Pour ce faire, de nombreux auteurs ont suivi l'évolution chimique des caféiers dans des essais d'engrais pour tenter d'établir des corrélations avec la production. Rares, sont ceux qui ont obtenu des relations utiles. Au Cameroun, sur caféier *arabica*, BENAC a montré que l'engrais azoté augmentait parallèlement les productions et les niveaux foliaires d'azote. La variable "engrais azoté" explique les variations des deux autres variables. Les niveaux foliaires sont corrélés avec les productions, mais ne les expliquent pas (SNEDECOR). A Balehonnur, aux Indes, RAJU et SUBRAMANIAN obtiennent des résultats semblables avec des apports de N et de N + P. Les engrais provoquent des augmentations des niveaux foliaires et des productions, entraînant des corrélations significatives entre les productions et les taux d'azote et de phosphore dans les feuilles. En Colombie, HUERTA n'obtient pas de corrélation avec les récoltes dans un essai NPK. Au Brésil, GALLO et al. analysent 180 plantations de différents niveaux de production et ne trouvent pas de relation avec les analyses foliaires. En Côte d'Ivoire, sur caféier *robusta*, VERLIERE a

analysé un essai factoriel NPK pendant six ans et n'a trouvé de corrélations positives que pour Ca et Mg foliaires et production pour les trois premières années. Après six années d'analyses, il conclut à la nécessité d'apporter un amendement calco-magnésien. Cinq cents grammes de dolomie par caféier ont été épandus en mars 1977 (800 kg/ha). Aucun effet de la dolomie n'a été enregistré comme l'indiquent les récoltes ci-dessous.

RECOLTES EN Kg DE CAFE MARCHAND/Ha

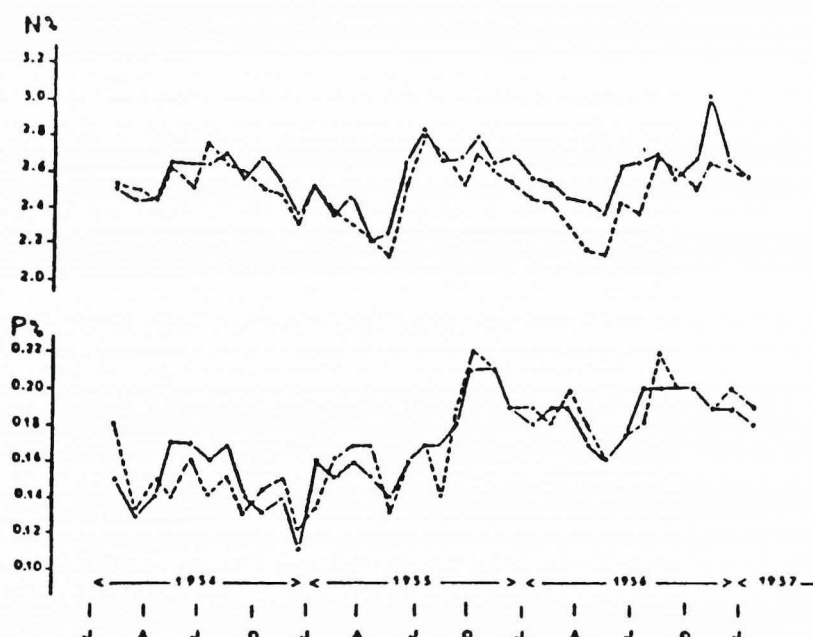
	1977	1978	1979	1980
Sans dolomie	1.002	2.323	193	992
Avec dolomie	980	2.323	236	937

tire-sève

L'efficacité du diagnostic foliaire pour déterminer les besoins en engrais des caféiers n'est pas évidente. A Madagascar, nous avons suivi des essais d'engrais en station et hors station pendant quatre années et nous concluons en 1967 : "aucune corrélation utile n'a pu être établie entre chimisme foliaire et production".

Le graphique 14.6 dû à CHAVERRI et al., est un exemple de l'absence de relations entre production et éléments minéraux dans les feuilles. Les éléments autres que N et P donnaient des résultats semblables. MULLER commente ce graphique : "On ne peut s'attendre à trouver des corrélations simples entre les taux en élément dans les feuilles et la production d'une plante. Ceci est dû à la multiplicité des réactions physiologiques simultanées et aussi aux facteurs externes qui sont difficiles à identifier et à interpréter". Ailleurs, MULLER écrit encore :

"L'analyse foliaire donne une image exacte du statut nutritionnel du caféier, mais elle ne donne généralement pas d'indications quant aux causes des déviations par rapport aux normes. Si des recommandations de fertilisation sont faites à partir du diagnostic foliaire, on n'a aucune assurance qu'elles donneront le résultat attendu, si l'on ne tient pas compte du sol. La réussite de son application dépend dans une large mesure de deux corrélations :



GRAPHIQUE 14.6

Courbes annuelles des niveaux d'azote et de phosphore des quatrièmes paires de feuilles de deux groupes de cafiers archaïques plantés sur des sites voisins.

— groupe de hauts producteurs
 ---- groupe de faibles producteurs
 (adapté de CHAVERRI R. et al., 1957).

a) - concentration disponible de l'élément dans le sol et proportion absorbée par les racines ;

b) - relation des concentrations des nutriments dans la plante, spécialement dans la feuille, avec la récolte produite. Puisque ces corrélations ne sont ni simples, ni directes, on doit s'attendre à beaucoup de déboires dans l'application de la méthode du diagnostic foliaire".

Néanmoins, l'analyse des feuilles des cafiers peut rendre de très grands services lorsqu'on approche du niveau de carence (GOUNY) ou lorsqu'on se trouve en présence de cafiers improductifs par suite de déséquilibres physiologiques dus à des déficiences ou à des toxicités en oligo-éléments. Ces déséquilibres sont le plus souvent dus aux caractéristiques chimiques ou physiques du sol, mais leur identification peut se faire par le diagnostic foliaire.

Enfin, il pourrait être intéressant de reprendre les travaux sur le diagnostic foliaire suivant la voie proposée par CARVAJAL, MULLER, GONZALEZ et d'autres pour les caféiers, et MURRAY pour les cacaoyers : le diagnostic à partir du gradient des niveaux en éléments entre les feuilles juste matures (troisième ou quatrième paire) et les feuilles plus âgées sur le même rameau (septième ou huitième paire). MURRAY pense que plus la demande de l'arbre pour un nutriment serait élevée, plus le gradient serait élevé. Le déficit ou la faible disponibilité de ce nutriment dans le sol se traduirait par une migration du nutriment des vieilles feuilles vers les jeunes feuilles ou vers les fruits en formation, élevant ainsi le gradient.

Ces études doivent être faites en relation avec des analyses chimiques du sol sur lequel se trouvent les caféiers. Au Kivu, CULOT et VAN WAMBEKE avaient bien démontré le grand intérêt de l'analyse du couple sol-feuille pour identifier les déficiences minérales du caféier d'arabie et pour déterminer les causes de ces déficiences.

2.3. Le diagnostic sol

Les sols des essais d'engrais sont régulièrement analysés pour en suivre l'évolution chimique. Il apparaît une relation assez nette entre les réponses des caféiers aux apports de fertilisants et la composition chimique du sol. En effet, sur les ferralsols peu à moyennement désaturés, les caféiers sélectionnés haut producteurs, rentabilisent les épandages d'azote seul (Figure 1).

Le Tableau I montre l'évolution du chimisme du sol pour l'ensemble des 108 parcelles des essais factoriels NPK à 3 niveaux des stations d'Abengourou et de Divo (27 combinaisons, 4 répétitions). Les essais ont été plantés en 1971 avec 5 clones élites identiques dans les deux sites. Les interprétations statistiques des analyses d'Abengourou en 1982 et de Divo en 1980, donnent des résultats similaires en ce qui concerne les effets principaux :

<u>Effets sur le sol</u>	<u>Abengourou</u> <u>Analyses du sol</u> <u>de 1982</u>	<u>Divo</u> <u>Analyses du sol</u> <u>de 1980</u>
Engrais azoté :	N : non significatif	non significatif
	K : très dépressif	très dépressif
	Ca : très dépressif	très dépressif
	Mg : très dépressif	très dépressif
	Somme : très dépressif	très dépressif
	pH : acidifiant	acidifiant
Engrais phosphaté :	P ₂ O ₅ : enrichissement	enrichissement
	Ca : enrichissement	sans effet
	Mg : sans effet	appauvrissement
	Somme : enrichissement	sans effet
	pH : neutralisation	sans effet
Engrais potassique :	K : enrichissement	enrichissement
Interaction N et K :	K : néant	Apport d'azote est dépressif sur ni- veau K du sol lors- qu'on apporte éga- lement de l'engrais potassique.

TABLEAU I

ANALYSE DE L'HORIZON DE SURFACE (0-20 cm)
DES ESSAIS D'ENGRAIS FACTORIELS NPK A 3 NIVEAUX
MOYENNES POUR LES 108 PARCELLES DES ESSAIS

	<u>ABENGOUROU</u>			<u>DIVO</u>		
	<u>1971</u>	<u>1978</u>	<u>1982</u>	<u>1974</u>	<u>1976</u>	<u>1980</u>
C %	29,71	-	-	12,15	10,73	8,83
N %	2,96	2,32	-	1,19	1,05	0,97
P ₂ O ₅ %	0,797	0,981	-	0,450	0,402	0,597
N/P	3,7	2,4	-	2,6	2,6	1,6
meq %						
K	0,724	0,626	0,699	0,783	0,188	0,270
Ca	12,070	8,772	6,646	9,527	7,629	4,912
Mg	2,460	1,796	1,155	1,406	1,176	0,891
Somme	15,254	11,194	8,500	11,216	8,993	6,073
C.E.	15,96	-	-	-	-	-
Saturation %	96	70	53			
pH	5,80	5,68	5,84	6,72	6,83	5,81
% K	4,7	5,6	8,2	2,5	2,1	4,4
Ca	79,2	78,4	78,2	85,0	84,8	80,9
Mg	16,1	16,0	13,6	12,5	13,1	14,7
Argile %	34,4					
Limon %	9,2					
Sable fin %	29,7					
Sable gros %	25,0					

Les épandages répétés d'azote depuis 1971, entraînent une acidification du sol et de lourdes pertes en bases échangeables avec des déséquilibres dans les rapports K - Ca - Mg et Mg/K. Par contre, les apports d'azote ne modifient pas significativement les teneurs en azote total du sol.

Dans ces conditions, il est évident que les analyses de sol ne permettent pas de déterminer les besoins en azote des caféiers. Au Cameroun, BENAC observait également l'absence de relations entre la richesse en azote du sol, les teneurs en azote des feuilles, les niveaux de production des caféiers et les réponses aux apports de sulfate d'ammoniaque.

Néanmoins, les analyses pourraient alerter le planteur sur les besoins des caféiers en phosphore et en bases échangeables.

En effet, à Divo, on constate une interaction bénéfique N-P pour les niveaux deux d'azote et un de phosphore (200 kg/ha de N et 100 kg/ha de P_2O_5). Cette interaction n'est pas significative dans l'essai d'Abengourou, sans doute parce que les niveaux de P_2O_5 total dans le sol sont plus élevés (0,797 ‰ P_2O_5 à Abengourou et 0,45 ‰ P_2O_5 à Divo). Le rapport N total/ P_2O_5 total ne semble pas influencer les réponses à l'engrais phosphaté.

De même, les analyses du sol indiquent la nécessité d'apports correctifs de cations. Les pertes induites par les épandages d'azote et par les exportations feront apparaître des déficiences cationiques chez les caféiers : l'acidification du sol induira des excès et même des toxicités en manganèse qui pourraient bloquer le fer et le molybdène (LABANAUSKAS, VICENTE-CHANDLER et al). Ces phénomènes limiteront la productivité des caféiers. On observe cependant, qu'après douze années d'épandages, le seuil de déficience ou de toxicité n'est pas encore atteint dans les sols peu ou moyennement désaturés.

Par contre, dans les sols très désaturés, à faible capacité d'échange de l'Ouest de la Côte d'Ivoire, à Zagné, ce seuil est atteint puisque les caféiers exigent des apports de potasse pour se développer

et pour produire. C'est ce que montrent l'essai M6, Tableau II, sur jeunes caféiers de 3 ans et l'essai M3 sur caféiers de douze ans, Tableau III.

TABLEAU II

MORTALITE ET RECOLTES DANS L'ESSAI M6 DE ZAGNE,
PLANTE EN 1980
MOYENNES DES 6 REPETITIONS

Traitements	Mortalité en % à 12 mois	Récoltes cumulées kg/ha café marchand 1982 + 1983
Témoin	9,0 c	138 c
N 100 kg/ha, an	17,8 bc	128 c
N 200 kg/ha, an	27,1 ab	148 c
N 300 kg/ha, an	38,0 a	80 c
20.2.10 500 kg/ha. an	9,5 c	477 b
12.15.18 833 kg/ha. an	9,3 c	571 b
12.15.18 + MgO	8,3 c	867 a
1.666 kg/ha.an + 160 kg/ha. an kiésérite		

Coeffic. variation % 52,6 134,2
Ecart significatifs à P = 0,05 a > b > c

Le sol de cet essai a la composition moyenne suivante :

Argile	19,0 %	C %	12,902	Bases échangeables en meq %
Limon	6,0 %	N %	1,085	K : 0,148
Sable fin	19,3 %	P ₂ O ₅ %	0,325	Ca : 1,62
Sable grossier	52,9 %	pH	4,65	Mg : 0,65
			Somme	: 2,418
			Capacité d'échange	: 4,76

ESSAI M3 A ZAGNE
RECOLTES EN Kg/Ha DE CAFE MARCHAND
ANALYSE DE L'HORIZON DE SURFACE DU SOL

	Premier cycle		Deuxième cycle	
	Cumul	4 ans	Cumul	4 ans
	1974	à 1977	1978	à 1982
Témoin sans engrais	7.678	b	6.067	b
800 kg/ha 12.15.18	11.620	a	11.512	a
1200 kg/ha 12.15/18	13.138	a	12.282	a

Composition moyenne du sol en 1974 (0 à 20 cm) :

Argile	24,6 %	C %	10,843	Bases échangeables en meq %	
Limon	4,2 %	N %	1,036	K	: 0,072
Sable fin	43,3 %	P ₂ O ₅ %	0,257	Ca	: 1,06
Sable grossier	24,4 %	pH	4,73	Mg	: 0,27
			Somme		: 1,402
				Capacité d'échange	: 3,97

Ces premiers résultats sont encourageants, mais ils ne permettent pas encore de préciser les besoins en engrais des caféiers.

Au vu des analyses du sol, il est possible de déterminer s'il nécessite un apport de phosphore et une correction potassique.

- Sur les sols peu à moyennement désaturés, on apportera uniquement de l'azote pendant dix à quinze ans, avec éventuellement un peu de phosphore, si les teneurs sont basses. L'examen périodique de l'évolution chimique du sol permettra de décider de la nécessité de restaurer les niveaux de bases échangeables.

- Sur les sols très désaturés ou sur les sols moyennement désaturés à faibles capacité d'échange, si les niveaux des bases échangea-

bles et surtout de la potasse sont faibles, les caféiers répondront à des apports complets NPK et probablement Mg.

2.4. Conclusion

Les essais d'engrais minéraux installés sur différents types de sols ferrallitiques en Côte d'Ivoire, donnent des augmentations très rentables de production. L'azote seul ou l'azote et le phosphore, sur les sols faibles en phosphore, donnent de très bons résultats sur les sols peu à moyennement désaturés. Par contre, sur les sols très désaturés ou sur les sols à faible capacité d'échange, il est indispensable d'apporter des formules complètes NPK ou NPK Mg.

Une étude des facteurs du rendement influencés par les apports d'engrais a été faite en 1979. Elle a montré des liaisons fortes entre les apports d'azote, la croissance et le développement végétatif des caféiers, ainsi qu'avec la floraison et la nouaison. De même, on avait mis en évidence une augmentation significative, mais à un degré moindre du nombre de fleurs par noeud grâce aux apports de phosphore. L'augmentation du nombre de fleurs était de 13 % avec l'engrais phosphaté et de 17 % avec l'engrais azoté.

L'interprétation économique des essais d'engrais plantés en Côte d'Ivoire a été faite (SNOECK et DUCEAU, 1978). Elle permet les recommandations de fumure minérale qui figurent en Annexe.

ANNEXE

PROGRAMME DE FUMURE MINERALE DU CAFEIER ROBUSTA

Note préliminaire :

Etant donné la sensibilité des caféiers au chlore, les formulations à base du chlorure de potasse sont abandonnées en faveur des autres formes de potasse (sulfate ou cendres). C'est la raison pour laquelle on emploiera le 8.4.20.4 et on abandonnera le 12.15.18 contenant du chlore.

- Sol peu désaturé du Centre et de l'Est -

Année	kg/ha Unités N	kg/ha Urée	g/pied (1333 caféiers/ha) Urée	Epoques d'épandage
N0	20	43	2 x 16	Juillet et septembre
N1	50	109	2 x 41	Mars et septembre
N2	80	174	2 x 65	Mars et septembre
N3	90	196	2 x 74	Mars et septembre
N4	100	217	2 x 81	Mars et septembre
N5	100	217	2 x 81	Mars et septembre
N6	100	217	2 x 81	Mars et septembre
N7 recépage	50	109	2 x 41	Juillet et septembre
N8	formule 20.2.10.2			
N9	comme sur les sols très désaturés :			
et suite	(tableau suivant).			

- Sols très désaturés de l'Ouest et sables tertiaires -

Formule 20.2.10.2 composée par un mélange d'urée et de 8.4.20.4.

Années	20.2.10.2 kg/ha	Urée kg/ha	8.4.20.4 kg/ha	doses en g/pied pour 1333 caféiers/ha	
				Urée	8.4.20.4
N0	100	35	50	2 x 13	38
N1	250	87	125	2 x 33	94
N2	750	262	375	2 x 98	281
N3	1000	350	500	2 x 132	375
N4	1000	350	500	2 x 132	375
N5	1000	350	500	2 x 132	375
N6	1000	350	500	2 x 132	375
N7 recépage	250	87	125	2 x 33	94
N8	1000	350	500	2 x 132	375
N9	1000	350	500	2 x 132	375
et suite					

- Fractionnement et époque d'épandage -

- Urée : 2 fractions : mars et octobre.

- 8.4.20.4 : 1 fraction en fin juin - début juillet.

Noter qu'en année de plantation (N0) et années de recépage (N7, N12, N19) il faut épandre l'urée en septembre et octobre-novembre et le 8.4.20.4 en juin-juillet.

BIBLIOGRAPHIE

- BENAC R. - Etude des besoins en éléments majeurs du caféier *arabica* en pays Bamoun (Cameroun). Café, Cacao, Thé (Paris) Vol IX, n°1, 1965, p. 3-23

- JADIN P. 1973 - Etude de la fertilisation minérale des cacaoyers en Côte d'Ivoire à partir du diagnostic-sol. Café-Cacao-Thé Vol XVI, n°3, p. 204-218.

- JADIN P., FARDEAU JC. 1979 - Estimation des besoins en engrais phosphatés des sols à vocation cacaoyère. 7ème Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Douala/Cameroun.

- JADIN P., FARDEAU JC. 1983 - Correction de la carence phosphorique des sols (ferralsols) sous cacaoyers. 3ème Colloque International sur les composés phosphorés. Bruxelles/Belgique.

- LABANAUSKAS C.K. - Manganèse dans Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. H.D. CHAPMAN, Riverside, California, 1965.

- MULLER L.E. - Coffee nutrition. In fruit nutrition. Hort public. New Brunswick 1966, p. 685-776.

- VICENTE - CHANDLER J., ABRUNA F., BOSQUE LUGO R. et SILVA S. - Intensive coffee culture in Puerto Rico. Kenya Coffee Feb-April 1969.

- LOTODE R. , JADIN P. , 1981. - Calcul des besoins en engrais des cacaoyers. Café-Cacao-Thé. Vol XXV, n°1, p. 3-24.

- LOUE A., - Etude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. C.R.A. Bingerville, Bull. Trimestriel 13, 1951.

- SNOECK J. - L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Cultures arbustives 14 - Caféier. Ed. Technique et documentation Lavoisier 1984.
- SNOECK J. - Facteurs du rendement influencés par les apports d'azote chez le caféier *robusta* en Côte d'Ivoire. Café, Cacao, Thé. Vol XXV, n°3, 1981, p. 173-180.
- SNOECK J. et DUCEAU P. - Essais d'engrais minéraux sur *Coffea canephora* en Côte d'Ivoire : production et rentabilité. Café, Cacao, Thé. Vol. XXII, n°4, 1978, p. 285-302.

RECOMMANDATIONS POUR LES PRISES D'ECHANTILLONS DE SOL POUR LE CACAOYER
ET POUR LE CAFEIER

L'évaluation d'un sol ne peut être plus précise que celle de l'échantillon sur lequel elle est faite. L'importance d'un bon échantillonnage est donc énorme. Si l'échantillon n'est pas fidèlement représentatif du sol à évaluer, les conseils de fumure ne seront pas précis et pourront même induire en erreur. Il est essentiel que le même soin soit pris pour le prélèvement des échantillons que pour son analyse chimique.

Mode d'échantillonnage.

Pour être tout à fait représentatif, chaque échantillon doit être un composite, c'est à dire qu'il doit comprendre plusieurs sous-échantillons prélevés à différents endroits dans le champ. Chaque composite doit compter au moins 30 prélèvements, même pour de petits champs, pris au hasard sur toute la surface du champ à évaluer. Dans le cas d'une plantation, ces 30 prélèvements se feront à 60 cm de 30 plants différents. Sur de grandes superficies (plus de 10 ha), il convient de prendre plusieurs échantillons composites (1 par bloc ou plantation) dont le choix sera guidé par divers critères:

- type de sol (pédogénèse - topographie)
- Aspect de la végétation (culture - forêt - savanne - jachère)
- passé cultural de la plantation (entretien - fumure - ombrage)

Les variations mineures du sol et les anomalies telles que termitières, fourmilières, fossés, drains, taches gravillonnaires, ... doivent être évitées.

Seule la partie superficielle du sol de 0 à 20 cm sera prélevée, car la plupart des racines des cacaoyers et des cafeiers prolifèrent et se nourrissent dans cet horizon de surface.

Les échantillons seront collectés en saison des pluies lorsque le sol est humide mais non détrempé.

Méthode d'échantillonnage.

1. La couverture de feuilles mortes est écartée sans perturber la pellicule superficielle de sol humifère.
2. Si l'on dispose de tarières, des carottes sont prélevées jusqu'à 20 cm de profondeur et rassemblées dans un seau bien propre n'ayant jamais contenu d'engrais ou de sels minéraux. Sinon avec une bêche, on ouvre un trou de 30 cm de profondeur. Sur une des parois verticales, on coupe une tranche de 1 cm d'épaisseur sur 20 cm de profondeur. Il convient de bien ramasser la totalité de la tranche de sol, y compris la pellicule de surface, et de la mettre dans un seau bien propre.

3. Lorsque tous les sous-échantillons du champ à analyser ont été rassemblés dans le seau, on les mélange soigneusement et longuement sur une bâche bien propre. Ensuite la terre est tamisée à l'aide d'un tamis à mailles carrées de 4 à 5 mm. Après homogénéisation, on prélève environ 1kg de ce mélange et on le met dans un sac avec une étiquette indélébile à l'épreuve de l'humidité (étiquette en plastique, pas d'étiquette en papier). Les sachets types congélation sont recommandés car pratiques. Ils permettent une identification complète de l'échantillon sur les plages prévues à cet effet (écriture au bic) et sont vendus dans le commerce avec les ligatures (voir modèle ci-joint).
4. Faire sécher les échantillons à l'air sur un papier journal ou sur un papier fort. Prélever environ 500 g de terre qui seront expédiés, le surplus étant conservé sur place comme réserve en cas d'avarie au cours du transport.
5. Remplir sur le terrain le formulaire d'identification et de description dont le modèle est joint. Ce formulaire doit accompagner les échantillons.
6. Envoyer le tout à l'IRCC - CIRAD, service d'agronomie, BP 5035 34032 - Montpellier Cedex.

Montpellier, le 30 avril 1986

P. JADIN

J. SNOECK

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

LOCALISATION: _____

N° ECHANTILLON...

DATE: _____ VEGETATION: _____

DETAIL DU PRELEVEMENT: _____

TOPOGRAPHIE: Plateau

Haut de pente	→	Faible
Pente		Moyenne
Bas de pente		Forte
Bas fond		

SOL: Roche mère: _____

Texture: S - SA - AS - A - L

Eléments grossiers: oui - non

Humifère: très - peu - pas

Couleur: _____

Pratiques culturelles: Fertilisation: oui - non - peut être - parfois

Irrigation: oui - non

Ombrage: non - oui - dense - léger

nature: _____

Entretien: adventices: oui - non - un peu

taille: oui - non

égourmandage: oui - non - parfois

ASPECT VEGETATIF: Age de la plantation: jeune - adulte - recépée (année _____)

Aspect des troncs: présence de mousse: oui - non

diamètre de tronc: petit - normal -

Signe visuel de carence: Plantes cultivées: oui - non

Adventices : oui - non

Quelle carence? _____

Wilt - Die back : non - un peu - oui

ETAT PHYTOSANITAIRE: Insectes: bon - moyen - mauvais (_____)

Phytophthora: bon - moyen - mauvais

ESTIMATION DU RENDEMENT: faible - moyen - bon - très bon

AUTRES PRECISIONS: _____

SOLS SUPERFICIELS DE LA PROVINCE DE GUANTANAMO
(BARACOA)

	!	1	!	2	!	2	!	3	!	3	!
Profondeur cm	!	0/20	!	0/5	!	5/30	!	0/5	!	5/30	!
Argile %	!		!	123,4	!	123,4	!	139,0	!	141,2	!
Limon fin %	!		!	138,1	!	130,4	!	121,5	!	114,2	!
Limon grossier %	!		!	119,7	!	120,8	!	118,6	!	115,9	!
Sable fin %	!		!	117,6	!	121,5	!	115,8	!	118,5	!
Sable grossier %	!		!	1,3	!	3,8	!	5,1	!	10,3	!
Matière organique %	!	3,12	!	8,77	!	3,40	!	5,0	!	2,07	!
Carbone %	!	1,81	!	5,09	!	1,97	!	2,90	!	1,20	!
Azote o/oo	!	2,44	!	5,15	!	1,86	!	3,49	!	1,74	!
Phosphore total ppm de P	!	845	!	666	!	426	!	1472	!	809	!
Phosphore assimilable(O.D)ppm de P	!	66	!	42	!	9	!	325	!	91	!
Phosphore assimilable(résine)ppm de P	!		!	84	!	11	!	400	!	114	!
K meq/100	!	0,49	!	0,73	!	0,10	!	0,85	!	0,44	!
Ca meq/100	!	22,20	!	24,34	!	9,18	!	14,81	!	16,22	!
Mg meq/100	!	5,24	!	15,84	!	12,97	!	5,04	!	5,64	!
S meq/100	!	27,93	!	40,91	!	22,25	!	20,70	!	22,30	!
C.E.C meq/100	!	28,80	!	40,36	!	23,95	!	30,38	!	27,92	!
Saturation %	!	97	!	-----	!	93	!	68	!	80	!
pH (eau)	!	6,30	!	6,60	!	6,90	!	4,85	!	5,00	!

1 = échantillon provenant de la station de Baracoa (essai comparatif d'hybrides cacao).

2 = échantillon provenant de SIRINA (essai phytopathologie cacao).

3 = échantillon provenant de JAMAL (essai phytopathologie cacao).

SOLS SUPERFICIELS DE LA PROVINCE DE GUANTANAMO
(BARACOA)

	!	1	!	2	!	2	!	3	!	3	!
Profondeur cm	!	0/20	!	0/5	!	5/30	!	0/5	!	5/30	!
Argile %	!		!	23,4	!	23,4	!	39,0	!	41,2	!
Limon fin %	!		!	38,1	!	30,4	!	21,5	!	14,2	!
Limon grossier %	!		!	19,7	!	20,8	!	18,6	!	15,9	!
Sable fin %	!		!	17,6	!	21,5	!	15,8	!	18,5	!
Sable grossier %	!		!	1,3	!	3,8	!	5,1	!	10,3	!
Matière organique %	!	3,12	!	8,77	!	3,40	!	5,0	!	2,07	!
Carbone %	!	1,81	!	5,09	!	1,97	!	2,90	!	1,20	!
Azote o/oo	!	2,44	!	5,15	!	1,86	!	3,49	!	1,74	!
Phosphore total ppm de P	!	845	!	666	!	426	!	1472	!	809	!
Phosphore assimilable(O.D)ppm de P	!	66	!	42	!	9	!	325	!	91	!
Phosphore assimilable(résine)ppm de P	!		!	84	!	11	!	400	!	114	!
K meq/100	!	0,49	!	0,73	!	0,10	!	0,85	!	0,44	!
Ca meq/100	!	22,20	!	24,34	!	9,18	!	14,81	!	16,22	!
Mg meq/100	!	5,24	!	15,84	!	12,97	!	5,04	!	5,64	!
S meq/100	!	27,93	!	40,91	!	22,25	!	20,70	!	22,30	!
C.E.C meq/100	!	26,80	!	40,36	!	23,95	!	30,38	!	27,92	!
Saturation %	!	97	!	-----	!	93	!	68	!	80	!
pH (eau)	!	6,30	!	6,60	!	6,90	!	4,85	!	5,00	!

1 = échantillon provenant de la station de Baracoa (essai comparatif d'hybrides cacao).

2 = échantillon provenant de SIRINA (essai phytopathologie cacao).

3 = échantillon provenant de JAMAL (essai phytopathologie cacao).